

Charakterisierung von Erbsen- und Haferproteinfractionen zum Auslegen und Optimieren von Prozessen für die Herstellung von Alternativen zu Milchprodukten



Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungseinrichtung(en):	Leibniz-Institut für Lebensmittel-Systembiologie an der Technischen Universität München Prof. Dr. Corinna Dawid/Astrid Fischer/ Prof. Dr. Katharina Scherf/Dr. Barbara Maier Universität Hohenheim Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie FG Milchwissenschaft und -technologie Prof. Dr. Dr. Jörg Hinrichs
Industriegruppe(n):	Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. (AGF), Detmold Gemeinschaft zur Förderung von Pflanzeninnovation e.V. (GFPI), Bonn Milchindustrie-Verband e.V. (MIV), Berlin Verband der Getreide-, Mühlen- und Stärkewirtschaft e. V. (VGMS), Berlin
Projektkoordinator:	Christopher Guyot Müller Service GmbH, Freising
Laufzeit:	2022 – 2025
Zuwendungssumme:	€ 503.920,--

Ausgangssituation

Vegane bzw. vegetarische Produkte erfreuen sich zunehmender Beliebtheit bei den Verbrauchern, wobei pflanzliche Alternativen zu Milch im Jahr 2023 mit ca. € 805 Mio. die umsatzstärkste Gruppe in diesem Produktsegment ausmachten. Obwohl nur wenige Menschen in Deutschland strikt vegan leben, ist die Bereitschaft, entsprechende Alternativprodukte zu kaufen, in den letzten Jahren stetig gestiegen. Die Palette an Alternativen zu Milchprodukten ist dabei breit und reicht von pflanzlichen H-Drinks über fermentierte Produkte bis hin zu Käseanaloga.

Neben der Zusammensetzung bestimmen zunehmend auch Nachhaltigkeitsaspekte, wie z. B. ein regionaler oder deutscher Anbau, die Auswahl des pflanzlichen Rohstoffs. Der Rohstoff selbst liegt meist als trockener Samen vor, wie z. B. bei Erbse oder Hafer. Dieser wird vorbehandelt, aufgeschlossen und mit wässrigem Milieu extrahiert, bevor sich hieran die Feststoffabtrennung anschließt. Die resultierende pflanzliche Dispersion sollte eine möglichst hohe Konzentration an Proteinen enthalten bzw. die Proteinausbeute aus dem Rohstoff sollte für einen wirtschaftlichen Prozess möglichst hoch sein. Die Ausbeute wird dabei maßgeblich von der Proteinzusammensetzung bzw. den Proteinfractionen bestimmt und unterliegt absolut, aber auch bzgl. ihrer jeweiligen Anteile, in Abhängigkeit von Sorte, Region, Anbaubedingungen, Boden, Klima o. ä. größeren Schwankungen.

Pflanzliche Proteine lassen sich nach T. B. Osborne in vier Hauptfraktionen unterteilen: Albumine (wasserlöslich, auch am isoelektrischen Punkt (IEP)), Globuline (salzlöslich), Prolamine (löslich in 70 % Ethanol) und Gluteline (nicht extrahierbar). Diese vier Proteinfractionen bestehen wiederum aus mehreren Untereinheiten, die sich in ihrer Primär-, Sekundär-, Tertiär- und Quartärstruktur unterscheiden. Ließen sich zumindest die extrahierbaren Fraktionen, d. h. im Wesentlichen die dominierenden Globuline, mit ihren Untereinheiten in der Rohware quantifizieren, könnte das Processing gezielt auf die Zusammensetzung des jeweiligen Rohstoffs hin abgestimmt werden. Bisher fehlen jedoch entsprechende Analysemethoden für den Einsatz in der industriellen Praxis und die dazugehörigen Referenzmaterialien.

Die pflanzlichen Dispersionen werden derzeit entweder direkt in den Unternehmen zum Endprodukt weiterverarbeitet oder es werden pulverförmige pflanzliche Proteinpräparate bzw. -isolate hergestellt. Letztere werden von weiterverarbeitenden Betrieben rekonstituiert und dann zu unterschiedlichen Alternativprodukten weiterverarbeitet. In allen Fällen durchläuft das Produkt eine thermische Behandlung, um Mikroorganismen und auch Enzyme zu inaktivieren (Sicherheit und Haltbarkeit). Je nach Temperatur-Zeit-Kombination werden dabei alle Proteinfractionen oder auch nur einzelne Untereinheiten denaturiert, wodurch sich deren Struktur und auch die physikalischen Eigenschaften ändern.

Mit einer quantitativen Analytik und einem besseren Verständnis der thermisch bedingten Veränderungen von pflanzlichen Proteinfractionen könnten Prozesse besser ausgelegt und auf gewünschte physikalische Eigenschaften hin optimiert werden. Ziel des Forschungsvorhabens war es deshalb, Methoden zu entwickeln, um Rohmaterialien für das Processing von Alternativprodukten zu qualifizieren und Prozesse zu optimieren. Im Fokus des Vorhabens standen dabei:

- die Entwicklung einer HPLC-Methode, mit der einzelne Pflanzenproteinfractionen im Rohstoff und in Zwischen- und Endprodukten quantifiziert werden können,
- die Ermittlung der Kinetik der thermischen Denaturierung der Globulinfraktion und deren Untereinheiten sowie deren Interaktion sowie
- die Charakterisierung der physikalischen Eigenschaften in Folge einer Denaturierung und ggf. Aggregation der Proteine.

Forschungsergebnis

Zu Beginn des Projekts wurden die Erbsen- und Haferproteinextraktionen im Technikumsmaßstab etabliert und die Parameter hinsichtlich der Proteinausbeute optimiert. Durch Optimierung konnten bei der Erbse maximal 85 % der löslichen Proteine (Globuline und Albumine) und bei Hafer 95 % extrahiert werden. Die löslichen Proteine konnten im Technikumsmaßstab nicht weiter fraktioniert werden.

Im Labormaßstab wurde eine optimierte Osborne-Fraktionierung angewendet, um die Zusammensetzung der Proteine von Hafer und Erbsen zu analysieren und die Proteinfractionen quantitativ zu bestimmen. Dabei zeigte sich, dass die Anteile der Proteinfractionen zwischen den beiden Rohstoffen deutlich variieren, wobei Albumine und Globuline bei beiden die dominierenden Fraktionen sind. Zusätzlich wurden ausgewählte Proben als Referenzmaterialien festgelegt, um künftige Proteinbestimmungen zu standardisieren und weiterführende Untersuchungen zu unterstützen.

Für die Erhitzungsversuche wurde Erbsen- bzw. Hafersupernatant bei pH 7 hergestellt, um möglichst nah an der industriellen Erbsen-/Haferdrinkproduktion zu sein. Der Supernatant wurde bei verschiedenen Temperatur-/Zeitkombinationen erhitzt. Im Technikumsmaßstab wurde bei Temperaturen unter 100 °C im Wasserbad und bei Temperaturen oberhalb von 100 °C in einer Röhrcenerhitzungsanlage mit Dampf erhitzt. Im Labormaßstab wurde eine kleine Menge von 100 µL des Proteinextrakts mit einem Thermomixer erhitzt. Der Anteil der nativen Proteine wurde mittels einer neu entwickelten RP-HPLC-Methode bestimmt.

Mittels Bayesian-basierter, nichtlinearer Regression wurde eine Formalkinetik der thermischen Proteindenaturierung sowohl für Erbse als auch für Hafer aufgestellt. Daraus wurden die Einflüsse der Matrix und der

enzymatischen Vorbehandlung untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass die Proteindenaturierung je nach Proteinfraction, Ausgangsmaterial und Hitzeinwirkung in unterschiedlichem Ausmaß beeinflusst wird und dass die α -Amylase-Behandlung die thermische Stabilität des Proteins durch die Bildung von Zucker stabilisiert.

Zur ausführlichen Charakterisierung der Erbsenproteine wurde ihre Denaturierungskinetik zusätzlich mithilfe einer Proteomik-Methode untersucht. Es wurden 3.127 Proteine identifiziert und 49 Speicherproteine kinetisch ausgewertet. Alle zeigten zwei Aktivierungsenergiebereiche – reversible Denaturierung vs. irreversible Aggregation und die Aktivierungsenergie korrelierte negativ mit der intrinsischen Unordnung der Proteinstruktur und positiv mit dem Anteil polarer Aminosäuren im Protein.

Weiterhin wurde Hafersupernatant mittels eines Röhrenwärmetauschers und einer daran angeschlossenen Mikrowelle bei verschiedenen Temperatur-/Zeitkombinationen erhitzt, um Haferdrink mit unterschiedlichen nativen Anteilen herzustellen. Die Ergebnisse aus der „statischen“ Erhitzung wurden somit in der Feasibility Study mit denen der kontinuierlichen Erhitzung bestätigt und sind übertragbar. Die Drinks mit unterschiedlicher Nativität wurden gefriergetrocknet und die physikalischen Eigenschaften (Löslichkeit, Zeta-Potential, CLSM, Partikelgrößenverteilung, Farbe, Oberflächenhydrophobizität und Schaum) analysiert. Hier wurde gezeigt, dass die Denaturierung kaum oder gar keine Auswirkungen auf die physikalischen Eigenschaften hat. Jedoch hat eine pH-Änderung auf die genannten physikalischen Eigenschaften Einfluss.

Wirtschaftliche Bedeutung

In Deutschland wurde im Jahr 2023 ein Umsatz von 2,2 Mrd. € mit vegetarischen und veganen Lebensmitteln erzielt, was einem Wachstum von 8 % gegenüber dem Vorjahr entspricht. Wirtschaftliche Prognosen für 2025 bestätigen eine weiter zunehmende Marktbedeutung, getrieben durch sinkende Preise und eine verbesserte Produktqualität. Die erzielten Ergebnisse tragen dazu bei, dass durch eine quantitative Analyse der Proteine/-fraktionen pflanzlicher Rohstoffe in Kombination mit einer Analyse chemisch-physikalischer Eigenschaften, die mit dem Denaturierungsgrad einzelner Fraktionen korrelieren, thermische Be- und Verarbeitungsprozesse für pflanzliche Alternativen optimiert und weiterentwickelt wurden.

Die Projektergebnisse leisten einen wesentlichen Beitrag zur Effizienzsteigerung in der pflanzlichen Proteinverarbeitung. Durch die Entwicklung einer neuartigen HPLC-basierten Quantifizierungsmethode in Kombination mit Bayesian-basierter Modellierung wurde die Denaturierungskinetik von Erbsen- und Haferfraktionen erstmals präzise berechenbar gemacht. Dies stellt einen signifikanten Innovationssprung dar, da die thermisch induzierte Funktionalität (z. B. Löslichkeit, Emulgiervermögen, Farbstabilität) nun nicht mehr empirisch, sondern modellgestützt gesteuert werden kann.

Der wirtschaftliche Nutzen für KMU ergibt sich aus der erfolgreichen Validierung des Scale-up vom Labor- in den Technikumsmaßstab. Die erzielten Daten zur Maximierung der Proteinausbeute mittels optimierter Dekanter-Parameter und pH-Regulierung dienen als direkt transferierbare Vorlagen. KMU im Anlagenbau und in der Lebensmittelproduktion können hierauf basierend den benötigten Einsatz von Anlagen sowie Personal- und Zeitbedarf kalkulieren.

Die Innovation des Projekts liegt in der erfolgreichen Übertragung stationärer Erhitzungsprofile auf kontinuierliche industrielle Prozesse (Röhrenwärmetauscher/Mikrowellen-Kopplung). Die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen ermöglichen eine gezielte Prozessoptimierung, die mikrobiologische Sicherheit mit dem Erhalt wertgebender Proteineigenschaften vereint. Die industrielle Anwendung ist unmittelbar in der Produktion von Milch- und Käsealternativen gegeben, wodurch die Innovationskraft des deutschen Mittelstands im globalen Wachstumsmarkt der pflanzlichen Alternativen nachhaltig gestärkt wird.

Publikationen (Auswahl)

1. FEI-Schlussbericht 2025.
2. Wahl, A.-L., Schmidt, F., Nilla, J., Baumgartner, S. & Hinrichs, J.: Thermo-reversible Gele – Haben Erbsenproteine Potenzial? dmz Deutsche Molkerei Zeitung 21/2023, S. 18 – 21 (2023).

Der Schlussbericht ist für die interessierte Öffentlichkeit bei den Forschungseinrichtungen abzurufen.

Weiteres Informationsmaterial

Leibniz-Institut für Lebensmittel-Systembiologie
an der Technischen Universität München
Lise-Meitner-Straße 34, 85354 Freising
Tel.: +49 8161 71-2719
E-Mail: k.scherf.leibniz-lsb@tum.de

Universität Hohenheim
Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie
FG Milchwissenschaft und -technologie
Garbenstraße 21, 70599 Stuttgart
Tel.: +49 711 459-23792
Fax: +49 711 459-23617
E-Mail: j.hinrichs@uni-hohenheim.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)
Godesberger Allee 125, 53175 Bonn
Tel.: +49 228 3079699-0
Fax: +49 228 3079699-9
E-Mail: fei@fei-bonn.de

Förderhinweis

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben **01IF22684N** der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Godesberger Allee 125, 53175 Bonn, wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.